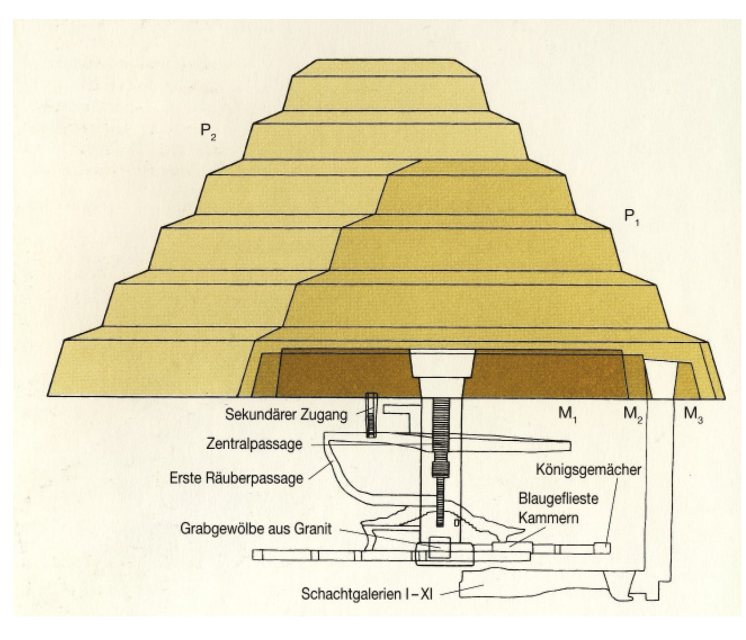
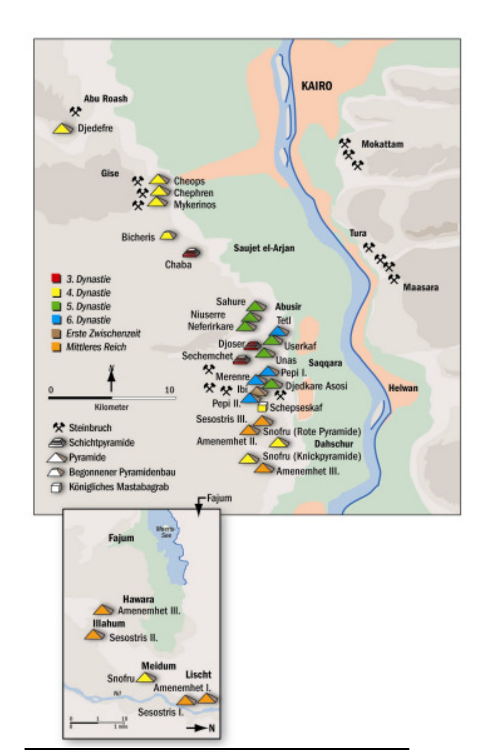
Frank Müller-Römer 27.09.2013

Wie entstanden die Pyramiden?
Neueste Forschungen zur Erbauung der Pyramiden des Alten Reiches[1]

Einführung



Mit dem Ende der 2. Dynastie (ca. 2700 v.Chr.) endete die Epoche des Baus von Mastaba-Gräbern für Könige und es begann der Bau der Pyramiden als königliche Grabstätte. Mit der Errichtung der Pyramide des Djoser (2690 – 2670 v.Chr.) wurde zugleich die Jahrhunderte alte Sitte aufgegeben, im oberägyptischen Abydos die Grabstätte zu errichten. Die Entwicklung des Pyramidenbaus wurde durch die Einführung der Steinbauweise durch Djosers Baumeister Imhotep möglich, der damit die bisherige Bauweise der Mastaba-Bauten mit ungebrannten Lehmziegeln verließ. Die Pyramide des Djoser wurde in verschiedenen Bauabschnitten – ausgehend von einer Mastaba – errichtet. Unter Snofru als erstem Herrscher der vierten Dynastie (2639 – 2504 v.Chr.) entwickelte sich die „klassische“ Pyramidenform.



Im Alten Ägypten galten für die Standortwahl zum Bau der Pyramiden als Königsgrab einige Grundvoraussetzungen:

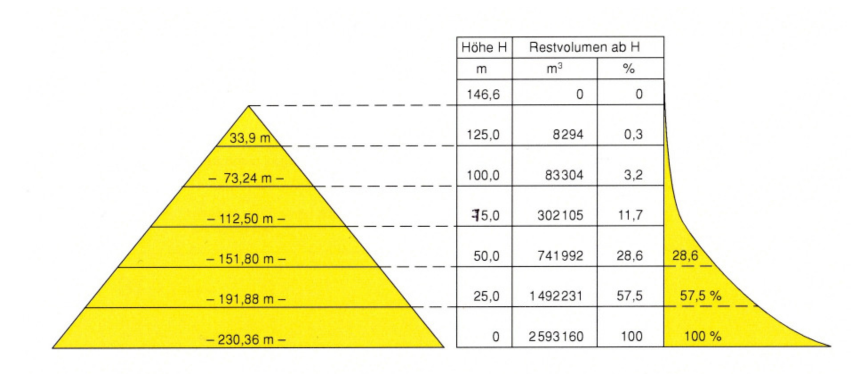
Der Westen, auf der Seite der untergehenden Sonne gelegen, galt ganz allgemein als das Totenreich – personifiziert durch die Göttin Amentet. So liegen die Königsgräber der 1. und 2. Dynastie in Abydos, die Pyramiden des Alten und Mittleren Reiches mit ihren Privatfriedhöfen, die Sonnenheiligtümer der 5. Dynastie sowie die Nekropolen von Theben-West auf der Westseite des Nil. Befinden sich Friedhöfe auf der Ostseite, ist wenigstens die Scheintür mit Schacht an der Westseite angeordnet.

Die Pyramiden mussten möglichst hoch über dem Fruchtland liegen, um weithin sichtbar zu sein. Heute versteht die moderne Ägyptologie die Pyramidenbauten des AR als mächtige Monumente des im König verkörperten Zentralstaates. In der 4. Dynastie (2639 –

[1] Vortrag anlässlich des 17. Münchner Kontaktstudiums für Geschichtslehrer im Rahmen der Lehrerfortbildung der LMU München „Aus der ägyptologischen Werkstatt“; München 26. und 27.08.2013; Institut für Ägyptologie.

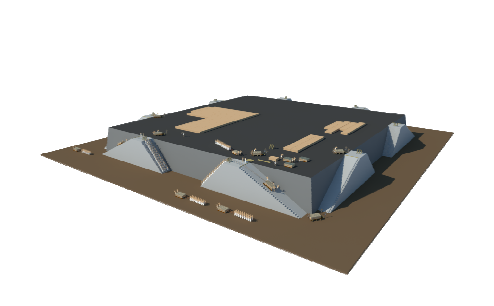
2504 v.Chr.) wurden sie an der Grenze zwischen Ober- und Unterägypten als Sinnbild der inneren Standfestigkeit des gesamtägyptischen Staates errichtet. In ihrer Größe sind sie Träger einer Idee und bedürfen keiner praktischen Nutzbarkeit als Rechtfertigung. Gleichzeitig präsentieren sie mit ihren klaren geometrischen Konturen Ordnung und Funktionieren des Staates. Sie stehen somit nicht nur für das Streben einzelner Könige nach der Überwindung der Vergänglichkeit des irdischen Lebens, sondern sind weit darüber hinausgehend Ausdruck des Anspruchs auf Dauerhaftigkeit des pharaonischen Staates.

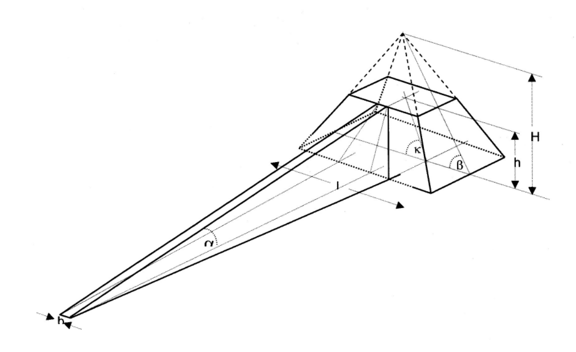
Grundsatzüberlegungen zum Pyramidenbau im Alten Ägypten



Höhe H	Restvolumen ab H	
m	m³	%
146,6	0	0
125,0	8294	0,3
100,0	83304	3,2
75,0	302105	11,7
50,0	741992	28,6
25,0	1492231	57,5
0	2593160	100

Unmittelbar nach der Thronbesteigung begannen Planung und Bau der Pyramide als Grabmal des Königs. Mit Blick auf die die nicht vorhersehbare Lebensdauer kamen einer möglichst kurzen Bauzeit und schnellen Fertigstellung des Bauwerks eine große Bedeutung zu. Verschiedene Pyramiden, so die der Nachfolger des Djoser Sechemchet und Chaba blieben unvollendet. Die Masse der im unteren Drittel einer Pyramide zu verbauenden Steine beträgt 71%. Nur eine zeitgleiche Verbauung auf allen vier Seiten der Pyramide mittels Tangentialrampen (links) führt zu einer Minimierung der Bauzeit im Vergleich zu einer senkrecht auf die Pyramide zuführende Rampe (rechts).





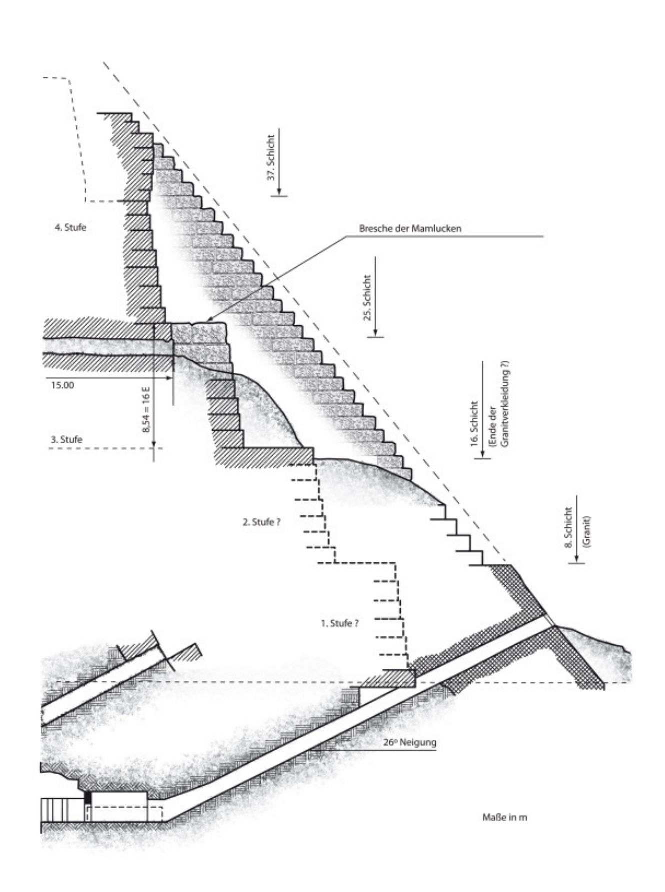
Archäologische Befunde zum Pyramidenbau



Die Pyramiden der 3. Dynastie (Djoser, Sechemchet und Chaba [letztere beiden unvollendet]) sowie die erste der 4. Dynastie, die Sofru in Meidum errichten ließ, wurden als Schichtpyramiden gebaut: Um einen Kern herum wurden Steinschichten mit von außen nach innen abnehmender Höhe errichtet (links Stumpf der Pyramide des Sechemchet).

Die Nachteile dieser Bauweise lagen in der zu geringen mechanischen Verbindung der einzelnen Schichten miteinander. Bei Bodensenkungen durch die sehr hohe

Bodenpressung und durch Erdbeben kam es zu Verschiebungen zwischen einzelnen Schichten (Pyramide des Snofru in Meidum) bzw. zu Schäden in den Grabkammern (Knickpyramide des Snofru in Dahschur Süd und Rote Pyramide des Snofru in Dahschur Nord). Es fand daher für die weiteren Pyramidenbauten ein Wechsel bei Planung des Bauplatzes und der Bauweise statt:



Schnitt durch die Bresche in der Pyramide des Mykerinos (links)

Zum einen wurde mit dem Gelände bei Gisa ein Untergrund aus sehr festem Nummulitenkalkstein gewählt, welcher der sehr hohen Bodenpressung (Gewicht pro m²), die bei der Cheopspyramide weit über derjenigen moderner Hochhäuser liegt, standhält. Zum anderen wurde die Schichtbauweise durch die Kernstufenbauweise abgelöst. Dabei besteht der innere Kern der Pyramide aus übereinander gesetzten Steinkästen mit festen Außenmauern. Im Inneren befinden sich nicht exakt behauene Steine unterschiedlicher Größe, deren Zwischenräume mit Sand, Schotter und Lehm aufgefüllt wurden. Auf diese Weise lagen einmal die Steine mit gleichmäßiger Lastverteilung (und nicht nur mit ihren Kanten) aufeinander und bei Erschütterungen durch Erdbeben, die im nördlichen Nildelta (Untertauchen der Afrikanischen Platte unter die Ägäische Platte) häufig vorkamen, konnte es andererseits keine Risse und wesentliche Verschiebungen einzelner Mauerteile etc. geben. In einem weiteren Arbeitsschritt wurde dann die äußere Verkleidungsschicht der Pyramide angebracht.



Bresche in der Pyramide des Mykerinos



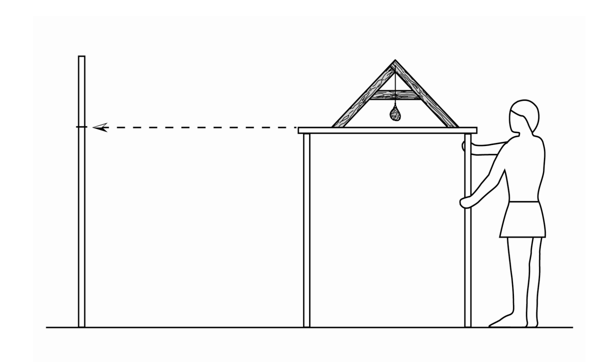
Sichtbare Kernstufenstruktur bei der Pyramide des Neferirkare (5. Dynastie) in Abusir

Werkzeuge, Bautechniken- und Bauverfahren

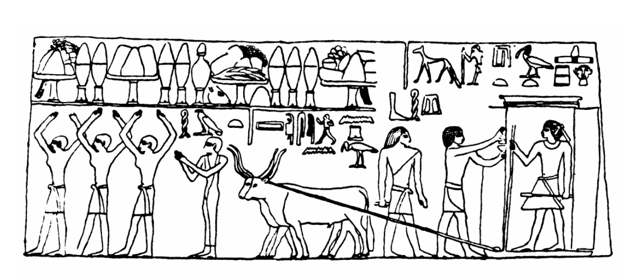
Aufgrund vielfältiger Funde und Darstellungen in Privatgräbern kennen wir die Werkzeuge, Bautechniken und Bauverfahren, die im Alten Reich eingesetzt wurden. Neben dem Meißel

aus Kupfer und Kugeln aus Hartgestein zu Steinbearbeitung wurde der Holzbalken mit seiner Hebelwirkung (Kraftverstärkung) verwendet, um Steine herauszubrechen und zu bewegen.

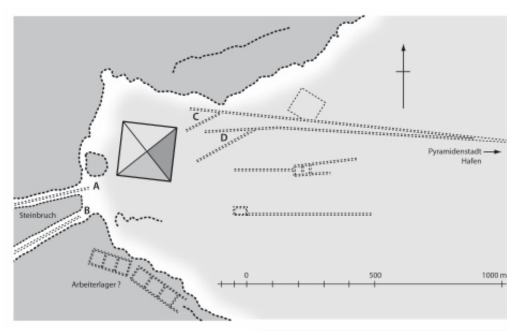
Stäbe und Winkellehren sowie Messstricke waren ebenso in Gebrauch wie Seile ganz verschiedener Zugfestigkeit und unterschiedlicher Querschnitte. Der Transport schwerer Lasten erfolgte auf Schlitten bzw. über Rollen auf Schotteruntergrund bzw. geglättetem Stein. Als Zugkräfte wurden Ochsen und Arbeiter eingesetzt.



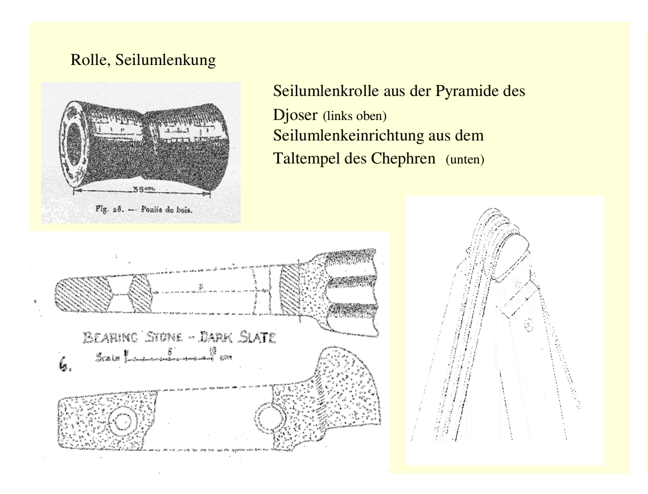
Erstellen einer waagerechten Nivellierlinie

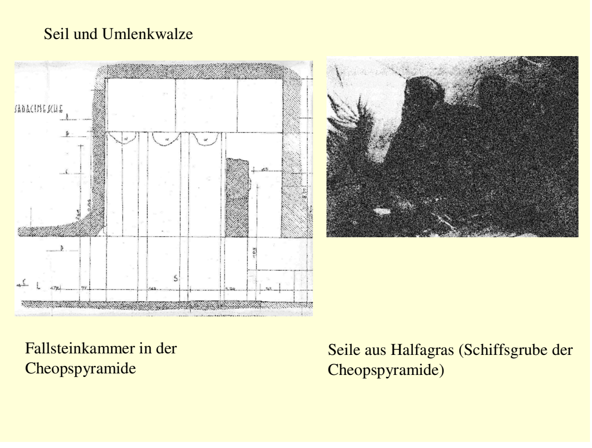


Transport einer Statue mittels Rindergespann
Grab des Hetepherachti, 5. Dynastie

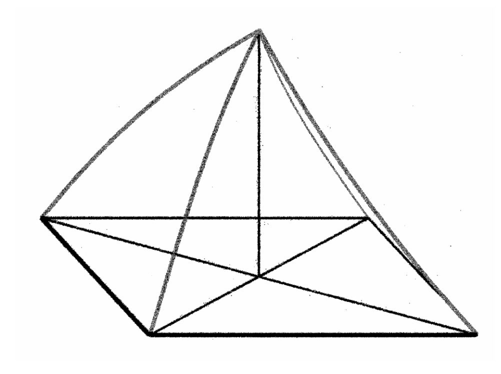


Transportstraßen zur Roten Pyramide (4. Dyn.)
vom Steinbruch und Hafen aus

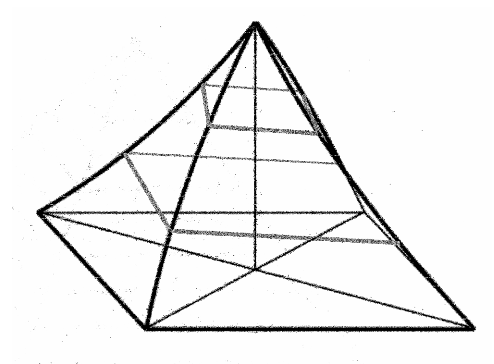




Vermessungstechnik beim Pyramidenbau

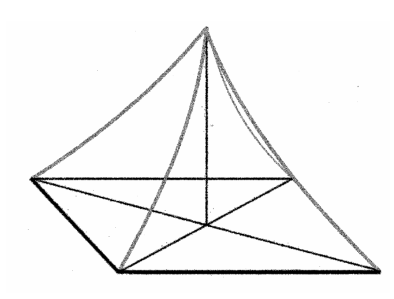


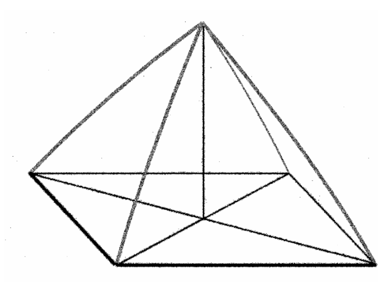
Eine der entscheidenden Maßnahmen beim Bau der Pyramiden war die exakte Einhaltung der vier Kanten, die sich Zentimetergenau in der Spitze des Pyramidion treffen mussten. Gleichzeitig mussten die vier Außenflächen der Pyramide völlig eben verlaufen. Bei Ungenauigkeiten beim Bau konnten verschiedene Fehler auftreten: Verformung durch nicht exakt waagerecht verlegte bzw. nicht gleich hohe Steinschichten der Außenverkleidung (Höhenmessung); linke Abbildung.

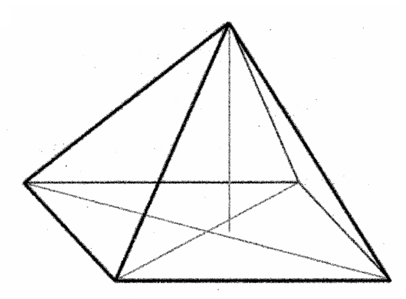


Unterschiedliche Ausrichtung einzelner Schichten der Außenverkleidung gegenüber der West-Ost- und Nord-Süd-Ausrichtung der Basis (Winkelmessung) (linke Abbildung).

Unterschiedliche Seitenlängen der Schichten der Außenverkleidung führen zu Verzerrungen der Außenflächen (Längen- bzw. Streckenmessung), nachstehende Abbildungen.



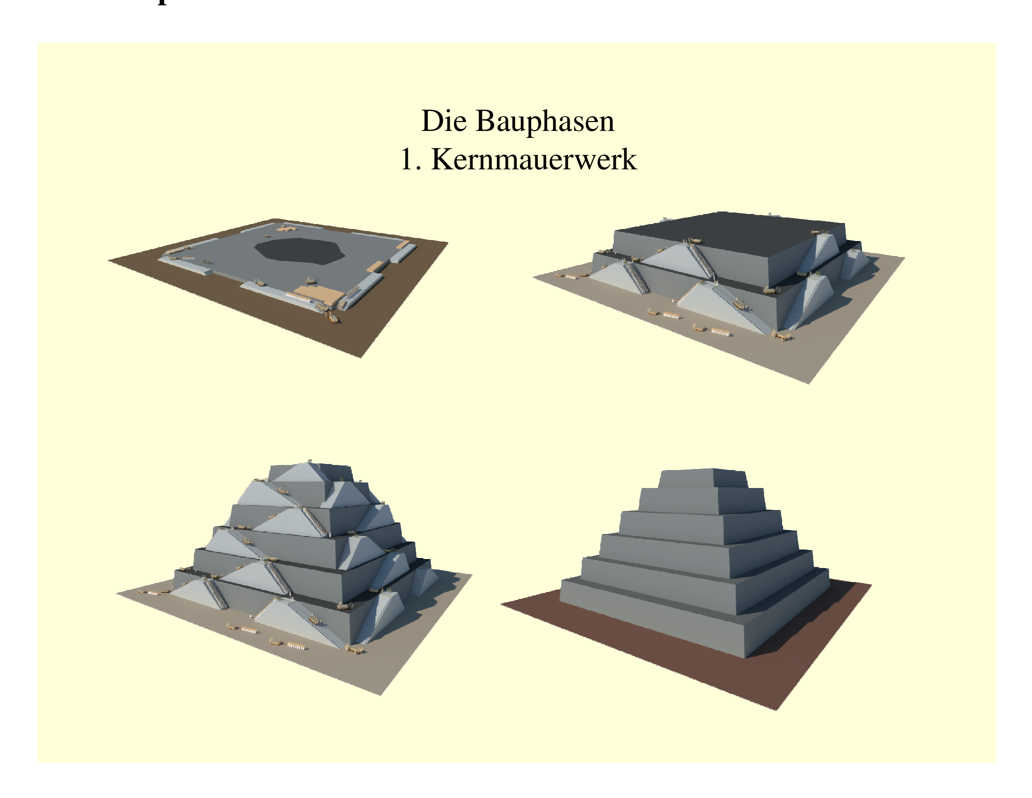




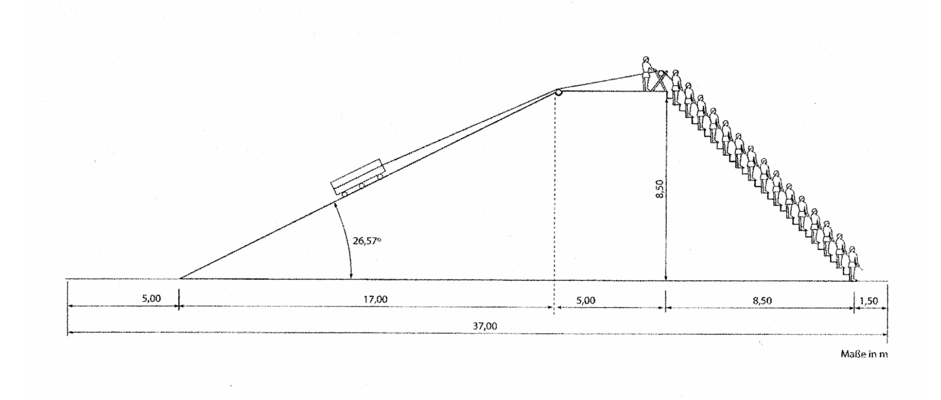
Logistik

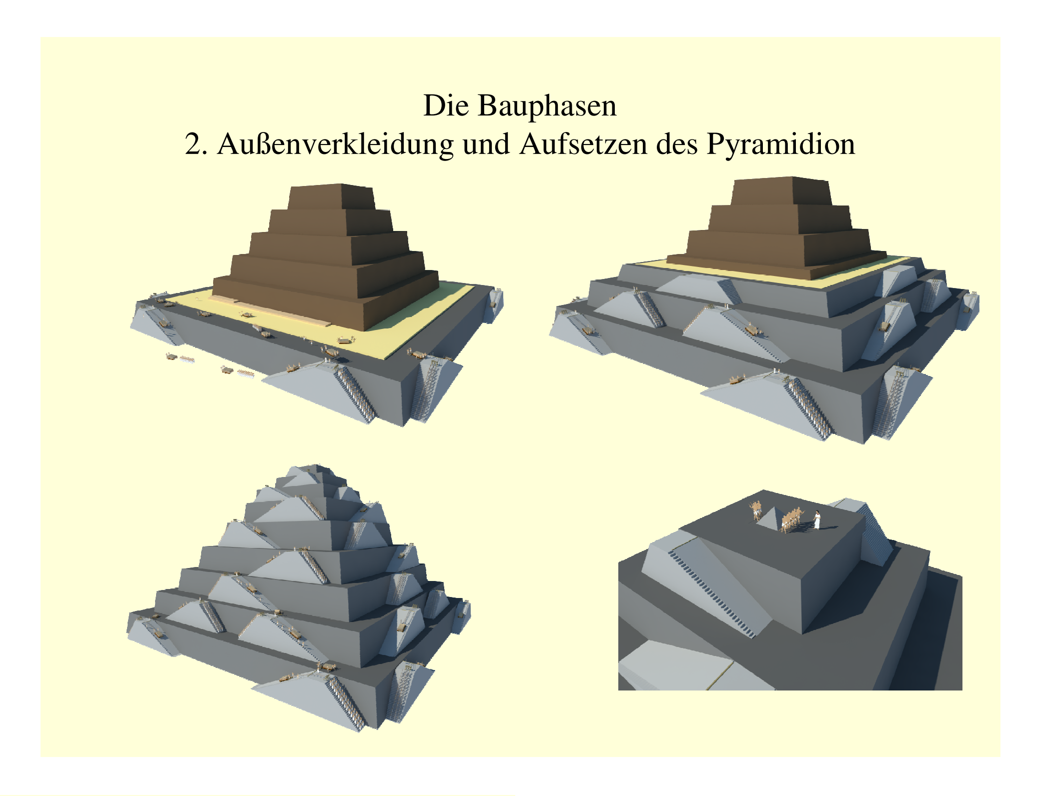
Um eine möglichst kurze Bauzeit der Pyramide zu erreichen, muss von der Bauleitung zur täglichen Anlieferung über die Transportrampen diejenige Steinmenge im Steinbruch „bestellt" werden, die über die Tangentialrampen auf den vier Seiten der Pyramide in der jeweiligen Bauhöhe benötigt wird. Geringere Mengen führen zu einer längeren Bauzeit; größere Steinmengen können nicht gelagert werden und führen zu Staus in der Steinproduktion und beim Transport. Eine ausgeklügelte Logistik und das Prinzip „Just in time" dürften für die Bauleitung einen großen Stellenwert besessen haben.

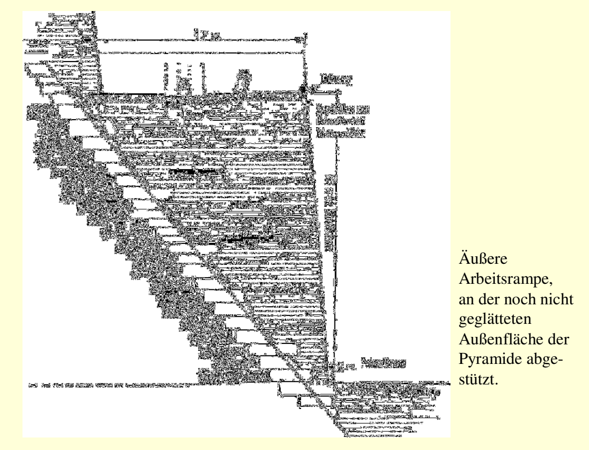
Die einzelnen Bauphasen



Steile Rampen mit einer Neigung von 1 (Höhe) zu 2 (Basis), welche einem Winkel von 24,5° entspricht, sind im Alten Reich archäologisch (Grabgänge innerhalb der Pyramiden) sowie in Abbildungen in Privatgräbern vielfach belegt. Sie werden für die vorgeschlagenen Tangentialrampen als Muster angenommen.

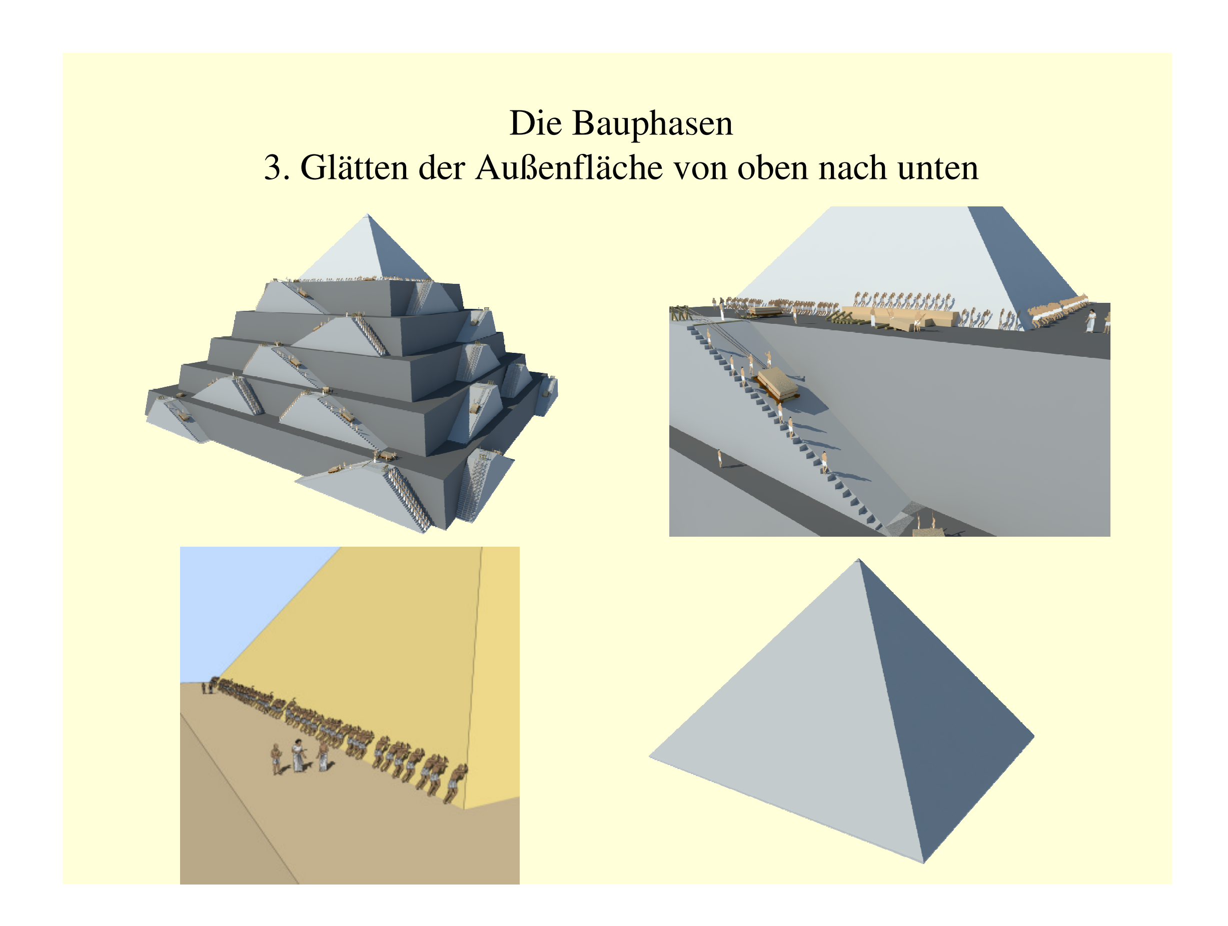






Äußere Arbeitsrampe, an der noch nicht geglätteten Außenfläche der Pyramide abgestützt.

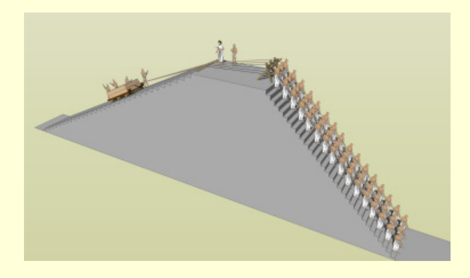
Nach Fertigstellung des Kernmauerwerks werden dessen Rampen abgebaut und es erfolgt – ausgehend von der Basis der späteren Pyramidenverkleidung – der Bau der Außenverkleidung – ebenfalls mit Hilfe einer „Baurampe“, die sich an den hervorstehenden Steinen der noch nicht geglätteten späteren Außenfläche anlehnt, und wiederum von Tangentialrampen. Das Pyramidion kann so gefahrlos transportiert und auf die Spitze der Außenverkleidung geschoben werden.



Berechnung der Bauzeit

Es müssen zwangsläufig gewisse Annahmen getroffen werden:

- Durchschnittliche Steingröße 1,2 m³ (Gewicht 3 t)
- Gewicht pro Schleppvorgang 3 t
- Taktzeit für einen Schleppvorgang 15 min (geschätzt)



- Berücksichtigung der Zahl der Rampen je Stufe des Kernmauerwerks
- Arbeitszeit 10 Stunden an 300 Tagen im Jahr
- Arbeitszeit für Glätten der Außenseiten (Durch Versuche ermittelt)

Verteilung des Arbeitsaufwandes für die Errichtung des Kernmauerwerks der Cheopspyramide auf die drei Logistikbereiche

Steinproduktion	53 %
Transport zur Baustelle	30 %
Bau der Pyramide	17 %

Gesamtaufwand dafür 151 000 Mannjahre
bei einer Bauzeit von ca. 13 Jahren (Kernmauerwerk)

Die maximale Zahl an gleichzeitig eingesetzten Arbeitskräften bis zu einer Höhe des Kernmauerwerks von 15 m betrug einschließlich der Mitarbeiter in den Versorgungsbetrieben ca. 25 000. Spätere Abnahme auf ca. 10 000 Arbeitskräfte.

Die Bauzeit der Pyramide des Mykerinos (Kernmauerwerk, Verkleidungsmauerwerk, Bau und Abbau der Rampen sowie Vorbereitungsarbeiten) beträgt nach der neuen Hypothese

ca. 4,8 Jahre

Eine Vergleichsrechnung für die Bauzeiten der Cheops-pyramide und der Roten Pyramide (Baubeginn im 15. Jahr der Regentschaft des Snofru) ergibt

22,5 Jahre (Cheops) und 18,7 Jahre (Rote Pyramide)

Regierungszeiten der Könige	Mykerinos	28 bzw. 6 Jahre
	Snofru	35 Jahre
	Cheops	23 Jahre

Die ermittelten Bauzeiten stehen somit nicht im Widerspruch zu den genannten Regierungszeiten.

Prof. Dr.- Ing. Dr. phil. Frank Müller-Römer
Tannenstraße 26
85579 Neubiberg
Tel. 089 60669595 Fax. 089 60669596
frank-mueller-roemer@t-online.de